

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung und Schadenanalyse Hand in Hand – am Beispiel einer Leckage an einer Rohrleitung aus austenitischen Stahl

Ulrich BAUMGARTEN¹, Ralph MALKE¹
¹ DEKRA Incos GmbH, Ingolstadt

Kontakt E-Mail: ralph.malke@dekra.com

Kurzfassung. Im Zuge von Schadensanalysen sind an einem Schadensteil gezielte Probennahmen und verschiedene (zerstörende) Untersuchungen notwendig. Dies gilt sowohl für metallographische Untersuchungen, als auch die Probennahme für fraktographische Untersuchungen. So erfolgt die Festlegung der Schliffebenen beispielsweise unter Berücksichtigung von zerstörungsfreien Prüfverfahren. Hilfreich können dabei beispielsweise Ultraschallprüfungen, aber auch Oberflächenrissprüfungen und Durchstrahlungsprüfungen sein.

An dem hier präsentierten Beispiel einer Rohrleitung aus austenitischen Stahl, an der eine Leckage auf Grund von Spannungen im Bauteil auftrat, wird beispielhaft die Festlegung der Schliffebenen auf Basis von Ultraschallprüfungen und Durchstrahlungsprüfungen präsentiert. Des Weiteren wurden die für die Untersuchung mittels EDX aufzubrechende Risse auf Basis von ZFP Methoden definiert.

Auf Basis der zerstörenden Untersuchungen wurde die Schadensursache festgestellt.

Einführung

An einem längsnahtgeschweißten Bogen aus dem Werkstoff 1.4301, angeordnet nach einem Einspritzkühler, wurde im Umfeld der Schweißnaht eine Leckage durch den Betreiber festgestellt.

Der Bogen besitzt einen Außendurchmesser von ca. 400 mm und eine Wanddicke von ca. 21 mm. Im Zuge erster Untersuchungen durch den Betreiber wurde festgestellt, dass das im Einspritzkühler eingeschweißte Schutzrohr, sich nicht mehr in seiner ursprünglichen Position befand.

Im Hinblick auf die Betriebsparameter sind folgende Daten bekannt:

- Temperatur vor dem Einspritzkühler: ca. 530 °C
- Temperatur nach dem Einspritzkühler: bis 470 °C
- Zyklische Temperaturschwankungen: ca. 50 °C
- Druck: 28 bar
- Medium: Dampf mit Kohlenwasserstoffen

Im Rahmen der Untersuchung war zu klären, welche Ursachen für die Leckage verantwortlich sind. Insbesondere war dabei zu klären, inwieweit diese auf Spannungsrisskorrosion zurückzuführen ist.

Für die Untersuchungen wurden nach den zerstörungsfreien Prüfungen ein ca. 200 x 200 mm großer Abschnitt aus dem Bogen ausgetrennt. Dieser beinhaltet die Reste der Fügenaht zwischen dem Bogen und dem Kühler wie auch die axiale Naht am Innenradius des Bogens. Die Position der axialen Naht wird nachfolgend mit 12 Uhr bezeichnet. In diesem Bereich befindet sich die Leckage bzw. die weiteren, nachfolgend beschriebenen Anrisse. Weitere Risse sind nach Informationen zudem in der 6-Uhr-Position am Bogen im Bereich der Rundnaht zum waagrechten Rohrabschnitt festzustellen.

1. Zerstörungsfreie Prüfungen

Nach dem Auftreten der Leckage wurde die Rohrleitung außer Betrieb genommen und gespült. Die Leckage trat in der Rundnaht „Bogen zu waagrechttem Rohrabschnitt“ auf. Beide Rundnähte am 90° Bogen (zu dem waagrechttem Rohrabschnitt, wie zu dem senkrechten Rohrabschnitt) wurden aufgetrennt und der Bogen entfernt. Zu diesem Zeitpunkt wurde DEKRA Incos GmbH konsultiert.



Abbildung 1: PT Anzeigen am heraus getrennten Bogen im Bereich der Rundnaht – in der Bildmitte unten ist die Längsnaht des Bogens erkennbar



Abbildung 2: PT Anzeigen am verbleibenden Rohrabschnitt im Bereich der Rundnaht – die Schweißkante ist bereits vorbereitet

An beiden Rohrenden sowie an beiden Enden des Bogens wurden Farbeindringprüfungen durchgeführt. An den Rohrenden war dabei bereits die Schweißkante vorbereitet. Bei der Farbeindringprüfung wurden Anzeigen festgestellt (Abbildung 1 und Abbildung 2). Der Bereich der Anzeigen erstreckte sich über den gesamten Umfang.

Der Großteil der Anzeigen der Farbeindringprüfung war längs zur Rohrleitung bzw. quer zur Schweißnaht orientiert. Für weitergehende Untersuchungen wurden auf Basis der Farbeindringprüfung Segmente des Bogens mit einer Vielzahl an Anzeigen definiert. Zusätzlich wurden an weiteren Schweißnähten des Rohrleitungssystems Farbeindringprüfungen an den Decklagen durchgeführt. Dabei wurden keine unzulässigen Anzeigen detektiert.

2. Zerstörende Prüfungen am ausgetrennten Abschnitt

2.1 Äußere Beurteilung (Labor)

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen sowohl die Außenseite (rötliche Färbung durch Farbeindringprüfung), als auch die Innenoberfläche des ausgetrennten Abschnittes. Reste der waagrechten Rundnaht sind in der Abbildung oben positioniert, die Axialnaht senkrecht. Der Riss im Leckagebereich ist entsprechend gekennzeichnet; er verläuft zunächst parallel zur Längsnaht und anschließend bogenförmig gekrümmt weg von der Naht.

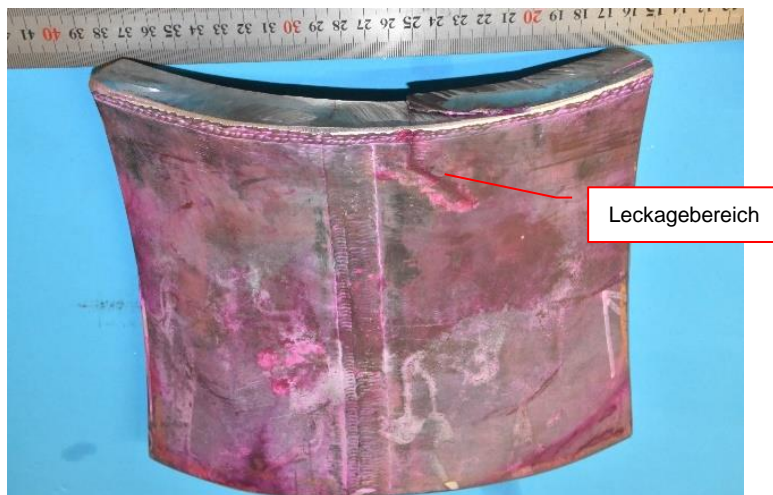


Abbildung 3: Herausgetrennter Abschnitt – Außenseite

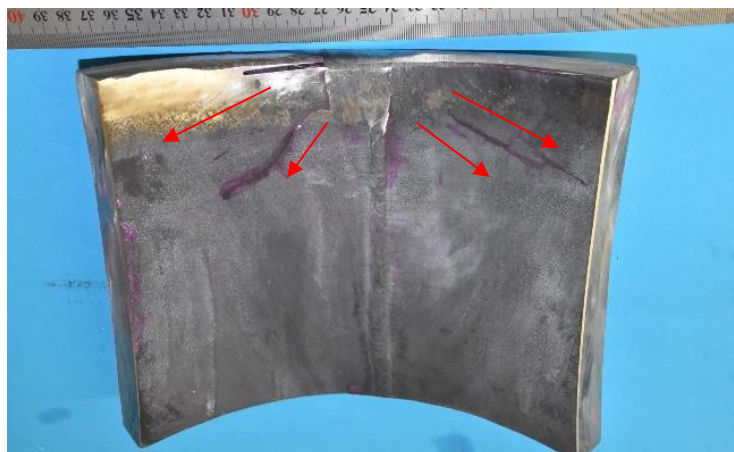


Abbildung 4: Herausgetrennter Abschnitt – Innenseite

Auffällig ist die Tatsache, dass die vor allem auf der Innenseite erkennbaren Risse einen zur Axialnaht spiegelbildlichen, bogenförmigen Verlauf aufweisen. An der Schnittkante ist beidseitig zur Axialnaht eine Vielzahl weiterer Anrisse erkennbar (Abbildung 5).

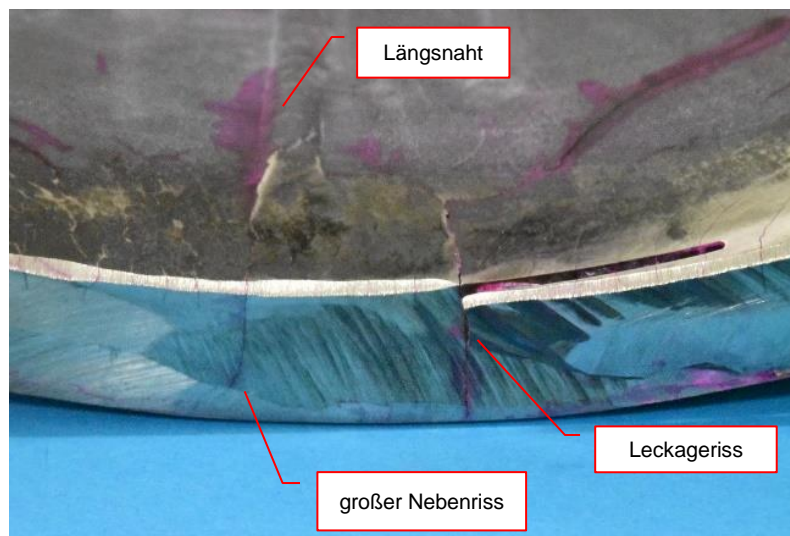


Abbildung 5: Rissanzeigen an Schnittkante

In einem weiteren Schritt wurde der für die Leckage verantwortliche Riss aufgebrochen (Abbildung 5). Die erkennbaren Strukturen weisen zweifelsfrei auf einen zyklischen Rissfortschritt – sowohl in Risslängsrichtung als auch, ausgehend von der Innenoberfläche, in Richtung Außenseite hin. Dies gilt auch für den weiter freigelegten Anriss in Abbildung 6.



Abbildung 6: Aufgebrochener Riss

Im ersten Drittel des die Leckage verursachenden Risses ist über die Wanddicke zunächst eine sehr feine Struktur zu erkennen. Im weiteren Verlauf sind rastlinienförmige Stufen erkennbar, die auf eine höhere Rissfortschrittsgeschwindigkeit hinweist. Im unmittelbaren Anschluss an die Rundnaht finden sich auf der Innenoberfläche, neben den bogenförmig orientieren Rissen, netzwerkartig weitere feine Anrisse. Die makroskopischen Aufnahmen der Schnittflächen der Axialnaht und im weiteren Verlauf der Rundnaht (Saum entlang der Außenoberfläche) sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt. Defizite in der Axialnaht sind nicht zu erkennen. Die Rundnaht weist ausgeprägte dendritische Strukturen auf. An der Innenoberfläche ist eine Vielzahl von Anrissen vorhanden.

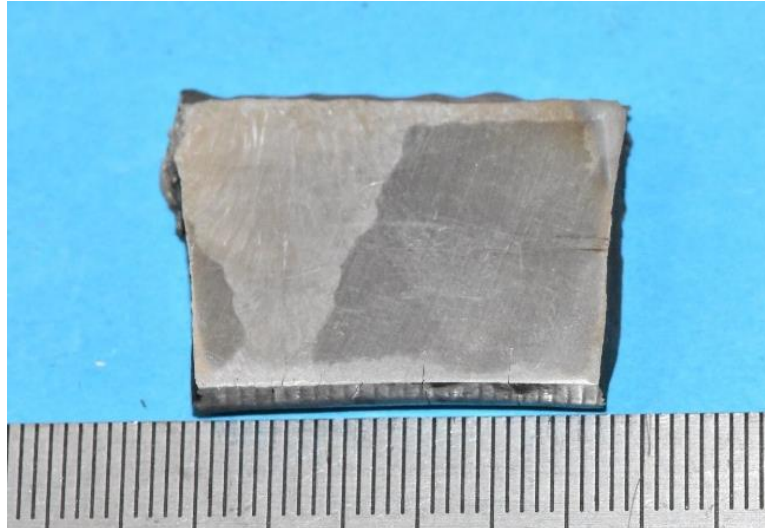


Abbildung 7: Längsnaht

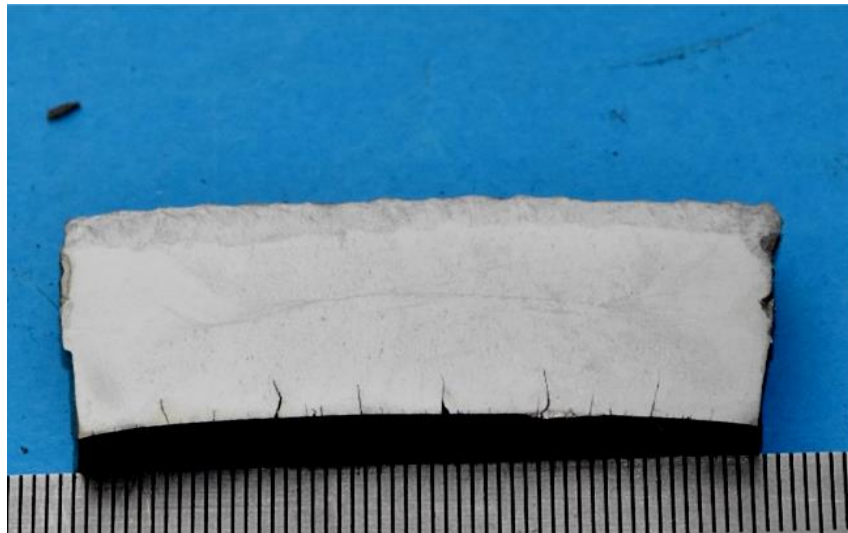


Abbildung 8: Rundnaht

2.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung / Energiedispersive Analysen

In einem weiteren Untersuchungsschritt wurden sowohl Wischproben der Innenoberflächen wie auch die geöffneten Risse mittels Rasterelektronenmikroskop und energiedispersiver Analyse untersucht.

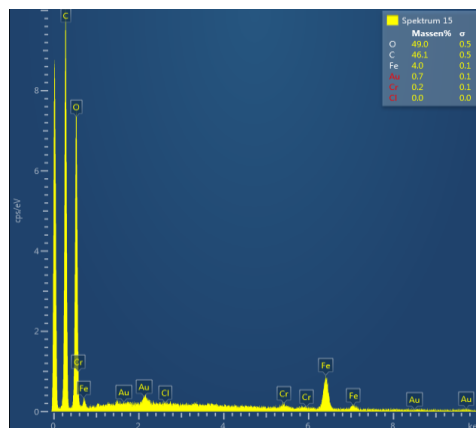


Abbildung 9: EDX der Wischproben

Beispielhaft ist in

Abbildung 9 das Ergebnis der Wischproben dargestellt. Es handelt sich dabei ausnahmslos um Eisenoxid. Korrosionsfördernde Verbindungen / Elemente, insbesondere Chloride können nicht nachgewiesen werden.

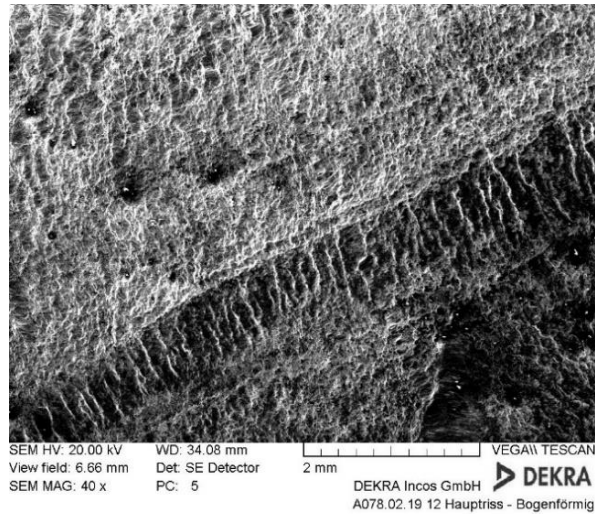


Abbildung 10: Rissoberfläche – Übersicht

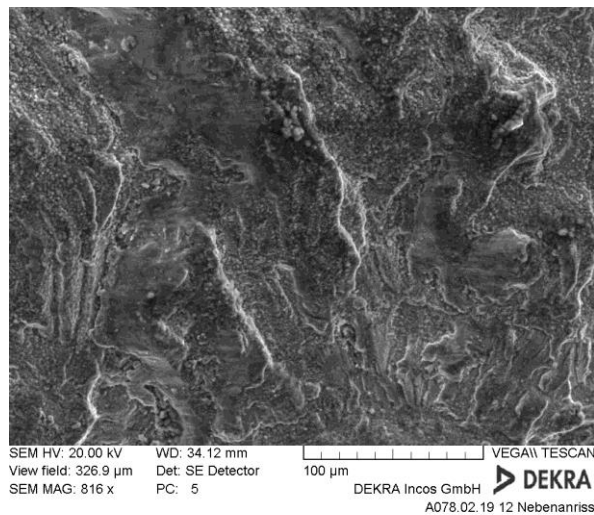


Abbildung 11: Rissoberfläche – Detail

Die Rissoberflächen sind in Abbildung 10 und in Abbildung 11 in der Übersicht wie auch im Detail dargestellt. Die vorliegenden Strukturen bestätigen zweifelsfrei, dass es sich bei dem Riss um einen zyklisch fortschreitenden Bruch handelt. Auf der Oberfläche sind feine Dehnungswechselstreifen – vergleichbar zu Schwingstreifen – zu erkennen. Die Morphologie des Laborgewaltbruches zeigt ein duktileres Versagensverhalten (Abbildung 12).

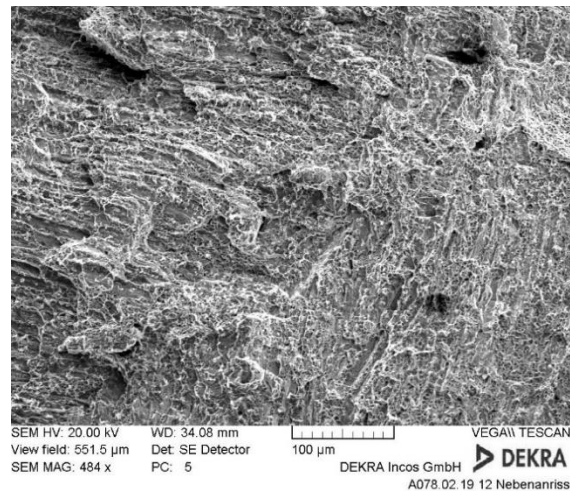


Abbildung 12: Laborgewaltbruch

2.3 Metallographische Untersuchung

An dem in Abbildung 8 dargestellten Makroschliff wurde im weiteren Verlauf Untersuchungen der Gefügemikrostruktur des Bogenwerkstoffes durchgeführt. Die Rissausbildung ist beispielhaft in Abbildung 13 dargestellt. Die Rissoberflächen / -flanken sind bereichsweise verzundert. Die Risspitzen weisen im Allgemeinen ein leichte Ausrundung auf. Bei genauer Betrachtung fallen in den Körnern entlang der Rissflanke lokal Verformungslinien auf, die im Zuge des zyklischen Öffnens und Schließen des Risses initiiert wurden. Das Kerngefüge ist in Abbildung 14 dargestellt. Im Kerngefüge sind keine Auffälligkeiten zu erkennen; dies bestätigt auch eine durchgeführte chemische Analyse bei der der Werkstoff 1.4301 des Bogens bestätigt werden kann.

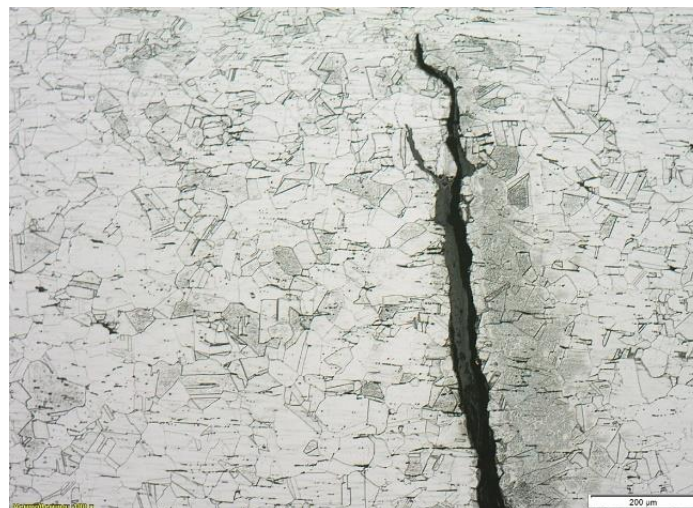


Abbildung 13: Gefüge Riss



Abbildung 14: Gefüge Grundstruktur

2.4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Untersuchung sollte die Leckageursache an dem Längsnaht-geschweißten Bogen ermittelt werden.

Die Untersuchungen zeigen zweifelsfrei, dass es sich um ein zyklisches Risswachstum, d.h. mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit um betriebsbedingte Dehnungswechselrisse handelt. Aufgrund fehlender Chloride und der Morphologie der Rissverläufe kann der Mechanismus der Chlorid-induzierten Spannungsrissskorrosion zweifelsfrei ausgeschlossen werden.

Ursache für die Dehnungswechsel sind die zyklischen Temperaturänderungen am Bogen im Zuge des Einspritzens von Kesselwasser in den Einspritzkühler. Unter Berücksichtigung der detektierten Positionen der Rissfelder und des spiegelbildlichen bogenförmigen Verlaufs der Risse ist allerdings von hohen überlagerten Grund- / Zusatzbeanspruchungen auszugehen. Insbesondere der spiegelbildlich bogenförmige Verlauf der Risse im Bereich der waagrechten Rundnaht weist auf eine Ovalisierung des Querschnitts hin.

Unter Berücksichtigung der Lage des zusätzlichen Rissfeldes im Bereich der 6-Uhr-Position an der senkrechten Rundnaht (Bogenende) deutet dies auf ein überlagertes Biegemoment hin (Ausdehnung in Richtung Einspritzkühler). Letztendlich können auch einbaubedingte Verformungen nicht ausgeschlossen werden, die für die Initiierung des Rundnaht-nahen Rissnetzwerkes verantwortlich sind.

Zusammenfassend ist somit festzuhalten, dass das Versagen zweifelsfrei auf Dehnungswechselbeanspruchungen zurückzuführen ist. Jedoch weist die Verteilung der Risse auf überlagerte, einbaubedingte hohe Grundspannungen im Bogen hin.